

РАСЧЕТ ИСКАЖЕННОЙ ОРБИТЫ СИНХРОТРОНА НА 300 МэВ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

В. Н. ЕПОНЕШНИКОВ, Г. П. ФОМЕНКО

Отклонение магнитного поля ускорителя от расчетного приводит к искажению мгновенной орбиты частиц, а, следовательно, к потере некоторой доли рабочей области магнита и уменьшению интенсивности пучка ускоренных частиц. Для расчета искаженной орбиты синхротрона на 300 МэВ были проведены измерения магнитного поля в 33 точках через интервал $\Delta\theta = 2^\circ 30'$ в секторах и в 18 точках через 2,07 см в прямолинейных промежутках на радиусах $R = 95$ см и $R = 100$ см. Расчет искаженной орбиты производился по методу, разработанному М. С. Рабиновичем [1]. Уравнение движения электронов в секторах с учетом отклонения магнитного поля от расчетного имеет вид:

$$\frac{d^2\rho}{d\theta} + \kappa^2\rho = \kappa g(\theta),$$

где

$$g(\theta) = -\frac{R}{\kappa} \frac{H_z(\theta) - H_\theta}{H_0}, \quad \kappa = \sqrt{1-n},$$

$$H_0 = \frac{1}{4}(H_{01} + H_{02} + H_{03} + H_{04}), \quad H_{0N} = \frac{1}{\nu} \int_0^\nu H_{zN}(\theta) d\theta,$$

n — показатель спадания магнитного поля,

ν — эффективный угол сектора (рис. 1).

Решение этого уравнения, более удобное для практических расчетов, получено К. Н. Шориным [2].

$$\rho_N(\theta) + A_N \cos \kappa(\nu - \theta) - B_N \cos \kappa \theta + \rho_N^*(\theta),$$

$$\rho_N^*(\theta) = \int_0^\theta g_N(\xi) \sin \kappa(\theta - \xi) d\xi.$$

θ изменяется в каждом секторе от 0 до ν .

Введем обозначения:

$$s = \sin \kappa \nu, \quad c = \cos \kappa \nu, \quad 2p = \frac{\kappa l}{R}, \quad \cos \mu = c - ps,$$

$l_{\text{эф}}$ — эффективная длина прямолинейного промежутка.

Коэффициенты A_N вычисляются по формулам

$$A_N = \frac{f_N \cos \mu + f_{N+1} + f_{N+2} \cos \mu + f_{N+3} \cos 2\mu}{2 \sin \mu \sin 2\mu},$$

$$f_N = \frac{-\alpha_N s - \beta_N (c - 2ps) + \beta_{N+1}}{s} - \frac{2p}{x} \dot{\rho}_N^*.$$

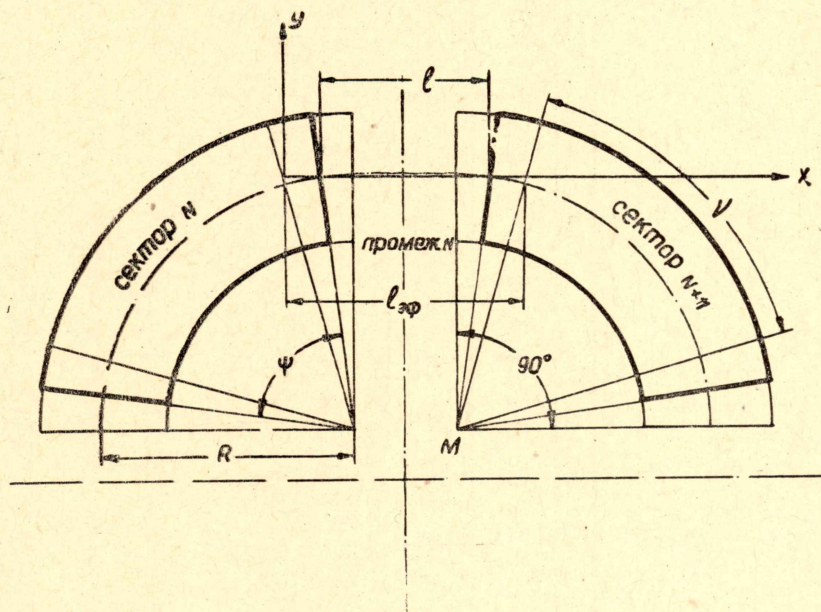


Рис. 1

$$\alpha_N = \eta_N + \rho_N^*(\nu), \quad \beta_N = \varepsilon \mu + \frac{1}{x} \dot{\rho}_N^*(\nu), \quad \varepsilon = \frac{R}{x} \delta_N,$$

$$\delta_N = \delta_0 - \frac{1}{H_0 R} \int_0^{l_{\text{эф}}} H_z(x) dx, \quad \delta_0 = \frac{\pi}{2} - \nu,$$

$\frac{1}{H_0 R} \int_0^{l_{\text{эф}}} H_z(x) dx$ — угол, на который поворачивается электрон в прямолинейном промежутке.

$$\eta_N = \frac{\delta_0 l_{\text{эф}}}{2} - \frac{1}{H_0 R} \int_0^{l_{\text{эф}}} dx \int_0^x H_{zN}(\xi) d\xi,$$

$\frac{1}{H_0 R} \int_0^{l_{\text{эф}}} dx \int_0^x H_z(\xi) d\xi$ — смещение электрона полем прямолинейного промежутка.

B_N определяется по формуле

$$B_N = A_{N+1} - \frac{\beta_N}{s}.$$

Исходя из формы магнитного поля в синхротроне было принято что эффективный угол сектора ν равняется 80° , а $l_{\text{эф}} = 68$ см.

Таблица

$H=19,8 \text{ э}, R=95 \text{ см}$					$H=19,8 \text{ э}, R=100 \text{ см}$				$H=100 \text{ э}, R=95 \text{ см}$				$H=10000 \text{ э}, R=95 \text{ см}$			
№	ΔH_g	$\delta \cdot 10^2$	$\eta \text{ см}$	$\pm \Delta \rho_m \text{ см}$	ΔH_g	$\delta \cdot 10^2$	$\eta \text{ см}$	$\pm \Delta \rho_m \text{ см}$	ΔH_g	$\delta \cdot 10^2$	$\eta \text{ см}$	$\pm \Delta \rho_m \text{ см}$	ΔH_g	$\delta \cdot 10^2$	$\eta \text{ см}$	$\pm \Delta \rho_m \text{ см}$
1	-0,02	-0,6	-0,89		-0,12	-0,03	-0,55		-0,5	0,08	0,16		-3	1,7	0,62	
2	-0,07	0,1	-0,52	1,3	0,16	0,77	-0,14	0,6	0,5	0,4	0,21	0,9	-19	-1,7	0,81	0,9
3	-0,01	0,4	-0,57		0,02	1,23	-0,18		-0,3	0,8	0,44		2	1,5	0,77	
4	-0,03	0,2	-0,96		-0,06	0,63	-0,61		0,3	0,6	0,20		20	19	0,73	

Основными характеристиками поля являются δ_N , η_N и ΔH_N ($\Delta H_N = H_{0N} - H_0$ — отклонение среднего поля в секторе от среднего поля по всем секторам). Для того, чтобы искажение равновесной орбиты электрона было наименьшим, необходимо сделать величины δ_N , η_N и ΔH_N как можно меньше.

Вычисления по измерениям естественного поля на уровне инжекции ($H_0 = 19,8$ э при отсутствии компенсации) дают следующие значения δ_N , η_N и ΔH_N :

$$\Delta H_1 = 0,17 \text{ э}, \quad \Delta H_2 = -0,12 \text{ э}, \quad \Delta H_3 = -0,25 \text{ э}, \quad \Delta H_4 = 0,20 \text{ э},$$

$$\delta_1 = 11^\circ 17', \quad \delta_2 = 12^\circ 24', \quad \delta_3 = 12^\circ 30', \quad \delta_4 = 11^\circ 39',$$

$$\eta_1 = 6,76 \text{ см}, \quad \eta_2 = 7,46 \text{ см}, \quad \eta_3 = 8,24 \text{ см}, \quad \eta_4 = 7,42 \text{ см}.$$

Максимальное отклонение искаженной орбиты от идеальной (Δr_m) было получено равным $\pm 5,75$ см. Ширина рабочей области магнита в радиальном направлении равняется 11,5 см, поэтому без коррекции магнитного поля невозможно осуществить ускорение частиц.

В результате расчета искаженной орбиты в естественном поле в момент инжекции были подобраны значения токов в корректирующих обмотках синхротрона [3], при которых искажение орбиты минимально. После коррекции магнитного поля были проведены измерения поля на радиусах 95 см и 100 см на уровне инжекции и на радиусе 95 см на уровнях 100 э и 10000 э. Результаты расчетов искаженной орбиты по магнитным измерениям приведены в таблице.

Искажение орбиты после коррекции на равновесном радиусе составляет $\pm 1,3$ см при $H = 19,8$ э, $\pm 0,9$ см, при $H = 100$ э и 10000 э. На радиусе 100 см максимальное искажение орбиты равняется $\pm 0,6$ см при $H = 19,8$ э. Таким образом, в результате коррекции искажение орбиты уменьшилось в 4 раза, и в течение всего времени ускорения потеря рабочей области магнита не превышает 22%.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. С. Рабинович. Труды ФИАН, 10, 1958.
2. К. Н. Шорин. Диссертация ФИАН, 1961.
3. В. Н. Епонешников, В. Н. Кузьмин. Система коррекции магнитного поля синхротрона (в настоящем сборнике).